

JAPANESE PATENT OFFICE
PATENT JOURNAL (A)
KOKAI PATENT APPLICATION NO. SHO 56[1981]-85909

Int. Cl. ³ :	H03F 1/32
Sequence No. for Office Use:	6832-5J
Filing No.:	Sho 54[1979]-161449
Filing Date:	December 14, 1979
Publication Date:	July 13, 1981
No. of Inventions:	1 (Total of 4 pages)
Examination Request:	Filed

AUTOMATIC-TRACKING NONLINEAR COMPENSATION SYSTEM

Inventors:	Toshio Noshima Nippon Telegraph and Telephone Corp. Yokosuka Telecommunication R&D Center 2356 Take 1-chome, Yokosuka-shi, Japan
	Toru Oyama Nippon Telegraph and Telephone Corp. 1-6 Uchisachi-cho 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan
Applicant:	Nippon Telegraph and Telephone Corp.
Agent:	Keiichi Yamaoto, patent attorney

Claim

An automatic-tracking nonlinear compensation method that, in a system in which an auxiliary circuit with independently controllable phase and amplitude, and whose output

characteristic exhibits second-order or higher high-order characteristics relative to its input, is inserted in series for nonlinear compensation into a system that is the object of compensation, is characterized in that a pilot signal with two or more waves of different frequencies is pre-inserted into the input signal, the phase-modulated distortion component that is generated from the pilot signal in the output signal of the system being compensated is detected, the level of the detected distortion component is stored, the amplitude and phase of the aforementioned high-order characteristics are perturbed by a variable attenuator and variable phase shifter, and the level of the phase modulated distortion component detected after perturbation is compared with the aforementioned stored distortion component level to determine the direction in which the next perturbation should be applied to decrease the level of the distortion component after perturbation.

Detailed explanation of the invention

This invention pertains to a device that automatically stabilizes the nonlinear compensation characteristics in pre-distortion nonlinear compensation methods and post-distortion nonlinear compensation methods.

Pre-distortion and post-distortion methods are known nonlinear compensation methods for high-frequency band amplifiers in which negative feedback cannot be employed. At optimum compensation point and operating point settings, these compensation methods are able to realize nonlinear compensation characteristics across a broadband dynamic range, but since the compensation circuit and the circuit being compensated are independent, they have the flaw of having inferior nonlinear characteristics when subjected to changes in a variety of electrical characteristics. One method of ensuring the stability of this nonlinear compensation characteristic involves detecting nonlinear distortion noise generated from the signal itself in a specified narrow band and automatically controlling the characteristics of the nonlinear compensation circuit to minimize this detected level, as in Japanese Patent Application No. Sho 54[1979]-014358. However, since control is impossible in this method when the mean level of the input signal fluctuates, it has the flaw of not being applicable to communications systems that transmit these kinds of signals.

Consequently, this invention alleviates the aforementioned flaws in prior art, its purpose is to provide an automatic-tracking nonlinear compensation method that is applicable even in cases where the mean power level of the input signal changes over time, and the invention is an automatic-tracking nonlinear compensation method that, in a system in which an auxiliary circuit with independently controllable phase and amplitude, and whose output characteristic exhibits second-order or higher high-order characteristics relative to its input, is inserted in series for nonlinear compensation into a system that is the object of compensation, is characterized in that a pilot signal with two or more waves of different frequencies is pre-inserted into the input signal,

the phase-modulated distortion component that is generated from the pilot signal in the output signal of the system being compensated is detected, the level of the detected distortion component is stored, the amplitude and phase of the aforementioned high-order characteristics are perturbed by a variable attenuator and variable phase shifter, and the level of the phase modulated distortion component detected after perturbation is compared with the aforementioned stored distortion component level to determine the direction in which the next perturbation should be applied to decrease the level of the distortion component after perturbation. Example embodiments will be described below, using the attached figures.

Figure 1 is an example embodiment of this invention, and is an example that is applied to a pre-distortion nonlinear compensation method whose purpose is to alleviate third-order intermodulation distortion noise. In the figure, reference number 1 is a signal input port, 2 is a band stop filter, 3 and 10 are power dividers, 8 is a power combiner, 4 is a delay line, 5 is an input-output cubing characteristic circuit, 6 is a variable phase shifter, 7 is a variable attenuator, 9 is an amplifier that is the object of compensation, 11 is a signal output port, 12 is a nonlinear distortion detector, 13 is a nonlinear characteristic controller, and 14 is a pilot detector. In addition, the area enclosed by the dotted line between a and b constitutes a pre-distortion nonlinear compensation circuit 15 (Japanese Patent Application No. Sho 52[1977]-092704). To summarize the operation of this device, the noise component of a specified narrow bandwidth is completely removed in advance by the band stop filter 2, the distortion sensor 12, which is installed in the output of the amplifier being compensated, is used to detect an intermodulation distortion component that has been generated from a pilot signal of two or more waves and that falls in this specified narrow band, and then the amplitude and phase of a distortion component inserted by the pre-distortion nonlinear compensation circuit are automatically controlled by the nonlinear characteristic controller 13 to minimize [the intermodulation distortion component].

The operation of this device will be described in detail below, following the signal path. Figure 2 shows the spectra of a pilot signal created from two continuous waves of the same amplitude and different frequencies and of the intermodulation distortion component generated by inputting the same to the nonlinear circuit. In the figure, frequencies f_{p1} and f_{p2} are pilot signals and frequencies $2f_{p1}-f_{p2}$ and $2f_{p2}-f_{p1}$ are third-order intermodulation distortion signal components. When these two pilot signals are input to the system in Figure 1 as an input signal, the noise component for the narrow bandwidth of the specified frequency of one of either of $2f_{p1}-f_{p2}$ and $2f_{p2}-f_{p1}$, $2f_{p1}-f_{p2}$ here, is completely removed. Next, a third-order intermodulation distortion component is generated by the pre-distortion circuit, and then a third-order intermodulation distortion component of the same frequency is further generated by the amplifier being compensated. The variable attenuator 7 and variable phase shifter 6 adjust the level and phase so that the distortion components generated by this pre-distortion circuit and compensated amplifier

negate one another. However, the distortion detector 12 will detect a third-order intermodulation distortion component (frequency $2f_{p1}-f_{p2}$) if the two distortions are not adequately canceled. If this detected distortion component is above a specified level, the nonlinear characteristic controller 13 functions to perturb the adjustment point of the variable attenuator 7 or variable phase shifter 6 and to detect any increase or decrease in the detected level of the third-order intermodulation distortion component produced as a result (frequency $2f_{p1}-f_{p2}$), thereby discovering the direction in which the detected distortion component will be decreased as the direction in which the variable attenuator 7 or variable phase shifter 6 should be adjusted, and then functions to adjust the characteristic of the pre-distortion circuit to the minimum distortion detection level point, i.e., the optimum compensation point. In order to realize this function, the nonlinear characteristic controller consists of a logic circuit, such as a microprocessor. Thus, as long as the optimum point has been set, control of the system can rest (i) for a specified time, (ii) until the detected level of distortion exceeds a specified level, or (iii) until a pilot signal for generating distortion is inserted into the system again as the input. Once the operating point of the distortion circuit has been adjusted to the optimum point, good nonlinear compensation can be performed over a broad bandwidth and over a broad dynamic range until the optimum compensation condition fails due to temperature fluctuations, power fluctuations, or long-term characteristic changes, etc., i.e., until control is subsequently begun, and therefore extremely stable distortion compensation characteristics can be realized. Insertion of the distortion generating pilot signal in the above operation employs methods of (1) continuously inserting two or more waves in idle bands of the data signal, as shown in Figure 3, or (2) continuously inserting two or more waves that are also used for reserved circuit signals. Since nonlinear characteristic control is only performed for relays being used for stand-by circuits in the case of (2), nonlinear characteristic control of all relays can be accomplished by switching the current circuit with a stand-by circuit at specified cycles.

In addition, since the pilot signal is regularly or periodically inserted, the pilot detector 14 in Figure 1 detects the pilot insertion and thus has the function of starting operation of the nonlinear characteristic controller. The functioning of a case was described above in which a pre-distortion method intended to alleviate third-order intermodulation distortion noise was used as the aforementioned nonlinear compensation circuit, but this invention would be similarly practical in cases of construction of pre-distortion circuits expected to alleviate not only third-order intermodulation distortion, but also fifth-order intermodulation distortion, in the base band or intermediate band with a newly installed path with an input-output fifth-order characteristic nonlinear circuit 16, as shown in Figure 4. Furthermore, this invention is also similarly practical in cases where the nonlinear compensation circuit 15 is placed in a back-end cascade connection on the amplifier being compensated 9, as shown in Figure 5, or in cases where the nonlinear distortion generation circuit is connected in parallel with the amplifier being

compensated, as shown in Figure 6. In addition, this invention is also similarly practical in cases where alleviation of even-number-order high-frequency distortion components is expected, by adding an input-output second-order characteristic or input-output fourth-order characteristic nonlinear circuit, as in the addition of the input-output fifth-order characteristic circuit 16 in Figure 4 and Figure 6.

This invention, as described above, has the advantage of being able to perform highly stable nonlinear compensation of amplifiers and frequency modulators since it has the function of automatically controlling the characteristics of the compensation system so as to minimize the generation of nonlinear distortion noise regardless of the input signal and even if the characteristics of the system being compensated change due to temperature fluctuations, power fluctuations, or chronological changes, etc. It also has the advantage of being able to omit the work of initializing the compensation system and the system being compensated, which was necessary in the past to improve the compensation effect in each individual device.

Finally, the conditions of embodiment of this invention are listed below.

(1) The automatic-tracking nonlinear compensation method of Claim 1, characterized in that, when perturbation is performed, the relay is switched to a standby circuit on which a distortion-generating pilot signal is the input signal.

(2) When the level of the intermodulation distortion component detected in the output signal of the system being compensated has dropped below a predetermined value, the perturbation operation is ceased for a predetermined amount of time, and the perturbation operation is restarted if the level of the distortion component exceeds the predetermined level during the cessation.

(3) The perturbation operation is started by inputting the distortion-generating pilot signal as the input signal.

Brief description of the figures

Figure 1 is a block diagram of an example embodiment of a device according to this invention, Figure 2 is a spectral diagram of the pilot signal and a third-order intermodulation distortion component, Figure 3 is an example of a spectrum when a pilot signal is inserted in the band of a data signal, Figure 4 is a block diagram of another example embodiment of a device according to this invention, and Figure 5 and Figure 6 are block diagrams of other example embodiments of devices according to this invention.

1 ... signal input port, 2 ... band stop filter, 3, 10 ... power divider, 4 ... delay line, 5 ... input-output third-order characteristic circuit, 6 ... variable phase shifter, 7 ... variable attenuator, 8 ... power combiner, 9 ... amplifier that is the object of compensation, 11 ... signal output port, 12 ... nonlinear distortion detector, 13 ... nonlinear characteristic controller, 14 ... pilot detector,

15 ... pre-distortion nonlinear compensation circuit, 16 ... input-output fifth-order characteristic circuit, 17 ... frequency modulator.

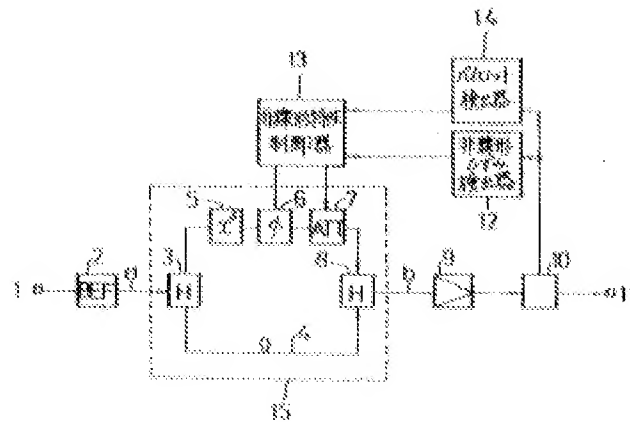


Figure 1

Key: 12 Nonlinear distortion detector
13 Nonlinear characteristic controller
14 Pilot detector

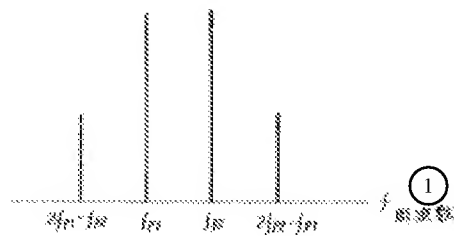


Figure 2

Key: 1 Frequency

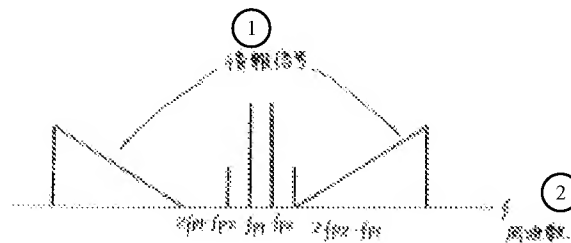


Figure 3

Key: 1 Data signal
2 Frequency

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭56—85909

⑤ Int. Cl.³
H 03 F 1/32

識別記号

庁内整理番号
6832—5 J

④ 公開 昭和56年(1981)7月13日

発明の数 1
審査請求 有

(全 4 頁)

⑤ 自動追従形非線形補償方式

① 特 願 昭54—161449

② 出 願 昭54(1979)12月14日

⑦ 発 明 者 野島俊雄
横須賀市武1丁目2356番地日本
電信電話公社横須賀電気通信研

究所内

⑧ 発 明 者 大山徹
東京都千代田区内幸町1丁目1
番6号日本電信電話公社内
⑨ 出 願 人 日本電信電話公社
⑩ 代 理 人 弁理士 山本恵一

明 細 書

1. 発明の名称

自動追従形非線形補償方式

2. 特許請求の範囲

出力特性が入力に対し2次以上の高次特性を示し、その位相と振幅を独立に制御可能な付加回路が非線形補償のために被補償系に直列に挿入される系において、入力信号に予め周波数の異なる2波以上のパイロット信号を注入し、被補償系出力信号においてパイロット信号から発生する相互変調ひずみ成分を検出し、検出されたひずみ成分のレベルを記憶し、前記高次特性の振幅と位相を可変減衰器と可変^移相器により振動し、振動後に検出される相互変調ひずみ成分のレベルを前記の記憶されたひずみ成分レベルと比較し振動後のひずみ成分のレベルが減少するごとく次の振動方向を決定することを特徴とする自動追従形非線形補償方式。

3. 発明の詳細な説明

本発明はプリディストーション非線形補償法や

ポストディストーション非線形補償法などにおいて、非線形補償特性を自動的に安定化する装置に関するものである。

負帰還法が適用できない高周波帯増幅器の非線形補償法としてプリディストーション法や、ポストディストーション法が知られている。これら非線形補償法は最適補償点に動作点が設定されれば広帯域ダイナミックレンジに渡って非線形補償特性を実現できるが、補償回路と^複補償回路が独立なため、夫々の電気的特性に変動が生ずると非線形特性が劣化する欠点がある。この非線形補償特性の安定性を確保する方法として特願54—014358のように信号自体から発生する非線形ひずみ雑音を特定狭帯域において検出し、その検出値が最小なるように非線形補償回路の特性を自動制御する方法がある。しかし、この方法は入力信号の平均レベルが変動する場合には制御が不能となるため、そのような信号を伝送する通信系に適用できない欠点がある。

従って本発明は従来の技術の上記欠点を改善す

るもので、その目的は入力信号の平均電力レベルが時間的に変動するような場合にも適用可能な自動追従形非線形補償方式を提供することであり、その特徴は、出力特性が入力に対し2次以上の高次特性を示し、その位相と振幅を独立に制御可能な付加回路が非線形補償のために被補償系に直列に挿入される系において入力信号に予め周波数の異なる2波以上のパイロット信号を注入し、被補償系出力信号においてそれらパイロット信号から発生する相互変調ひずみ成分を検出し、検出されたひずみ成分のレベルを記憶し、前記高次特性の振幅と位相を可変減衰器と可変移相器により振動し、振動後に検出される相互変調ひずみ成分のレベルを前記の記憶されたひずみ成分レベルと比較し振動後のひずみ成分のレベルが減少するごとく次の振動方向を決定するとき自動追従形非線形補償方式にある。以下図面により実施例を説明する。

第1図は本発明による実施例であつて、3次相互変調ひずみ雑音の改善を目的としたブリディストーション非線形補償法に対する適用例である。図

形回路に入力されることにより生ずる相互変調ひずみ成分のスペクトラムを示す。図中、周波数 f_{p1} 、 f_{p2} がパイロット信号、 $2f_{p1}-f_{p2}$ 、 $2f_{p2}-f_{p1}$ が3次相互変調ひずみ成分である。これら2本のパイロット信号が入力信号として、第1図の系に入力されると、まず帯域阻止回路2により、 $2f_{p1}-f_{p2}$ または、 $2f_{p2}-f_{p1}$ いずれか一方、ここでは $2f_{p1}-f_{p2}$ とすれば、その特定周波数の狭帯域について雑音成分が十分に除去される。次にブリディストーション回路により3次相互変調ひずみ成分が発生し、つづいて被補償増幅器によつてさらに同一周波数の3次相互変調ひずみ成分が発生する。これらブリディストーション回路と被補償増幅器が発生するひずみ成分は被補償増幅器出力において互いに打ち消し合うように可変減衰器7と可変移相器6によりレベルと位相が調整されている。しかしこれら2つのひずみの相殺が不完全な場合、ひずみ検出器12によつて3次相互変調ひずみ成分(周波数 $2f_{p1}-f_{p2}$) が検出される。非線形特性制御13は、この検出された、ひずみ成分が特定のレベル以上の

中、参照番号1は信号入力ポート、2は帯域阻止回路、3及び10は電力分配器、8は電力合成器、4は遅延線路、5は入出力3乗特性回路、6は可変移相器、7は可変減衰器、9は被補償増幅器、11は信号出力ポート、12は非線形ひずみ検出器、13は非線形特性制御器、14はパイロット検出器である。またa-b間の点線で囲まれた部分はブリディストーション非線形補償回路15を構成している(特願昭52-092704)。本装置の概略的な動作は、帯域阻止回路2により特定狭帯域の雑音成分を予め十分に除去しておき、被補償増幅器出力部に備えられたひずみ検出器12を用いて、2波以上のパイロット信号から発生し、その特定狭帯域に落ち込む相互変調ひずみ成分を検出し、それが最少となるようにブリディストーション非線形補償回路で注入するひずみ成分の振幅と位相を非線形特性制御器13によつて自動的に制御するものである。

以下、本装置の動作を信号経路に沿つて詳細に説明する。第2図に等振幅で周波数の異なる2本の連続波から成るパイロット信号とそれらが非線

場合、可変減衰器7または可変移相器6の調整点を振動し、その結果として生ずる3次相互変調ひずみ成分(周波数 $2f_{p1}-f_{p2}$) の検出レベルの増減を検知することにより、可変減衰器7または可変移相器6の調整方向として、検出されるひずみ成分が減少するような方向を見出し、ひずみの検出レベルの最小点、すなわち最適補償点は、ブリディストーション回路の特性を調整する機能を有する。このような機能を実現するために、非線形特性制御器はマイクロプロセッサの如き論理回路によつて構成される。このようにして最適点が設定されれば、系は(i)特定時間、または(ii)ひずみの検出レベルが特定レベル以上になるまで、または(iii)ひずみ発生のためのパイロット信号が再び入力信号として系に挿入されるまで、制御を休止する。ブリディストーション回路は一度最適点にその動作点が調整されれば、温度変動、電源変動、長期特性変化等により、その最適補償状態がくずれるまで、つまり次の制御開始まで、広帯域、広ダイナミックレンジに渡つて良好に非線形補償を行うため、極めて高

安定なひずみ補償特性が実現される。以上の動作の際、ひずみ発生用パイロットの挿入法として、(1)第3図に示すように、情報信号の空帯域に2波以上の連続波を挿入する；又は(2)予備回線を利用し、予備回線用信号を兼用して2波以上の連続波を挿入する、を用いる。(2)の場合非線形特性の制御は、予備回線に用いられている中継器に関してのみ行なわれるもので、特定の周期で現用回線と予備回線を切り換えることにより全中継器の非線形特性制御が実行される。

またパイロット信号の挿入は定常的または周期的に行なわれるもので、第1図におけるパイロット検出器14はパイロットの挿入を検知し、それにより非線形特性制御器の動作を始動させる機能を有する。以上非線形補償回路として3次相互変調ひずみ雑音の改善を目的としたブリディストーション法を用いた場合についてその機能を説明したが、第4図に示す如く、入出力5次特性非線形回路16を有する経路を新たに設けてベースバンドもしくは中間周波帯において、3次相互変調ひずみのみなら

ず5次相互変調ひずみについても改善を期待するブリディストーション回路を構成する場合についても本発明は同様に成立する。さらに第5図に示す如く非線形補償回路15を被補償増幅器9に対して後置縦続接続する場合や、第6図に示す如く非線形ひずみ発生回路を被補償増幅器に対して並列に接続する場合についても本発明は同様に成立する。また偶数次高調波ひずみ成分の改善を期待する場合には、第4図、第6図において入出力5次特性回路16を追加した如く入出力2次特性や入出力4次特性の非線形回路を追加すれば本発明は同様に成立する。

以上、説明したように本発明は、温度変動、電源変動、経年変化などによつて被補償器系の特性が変化しても、入力信号のいかんによらず、非線形ひずみ雑音の発生が最小となるように自動的に補償器系の特性を制御する機能を有するため増幅器や周波数変換器の非線形を高安定に補償できる利点を有する。また従来補償効果を個々の装置において良好にするために必要であつた補償器系と

被補償器系の初期動作調整作業を省略できる利点を有する。

最後に本発明の実施の状態を列挙する。

- (1)振動を行う際、ひずみ発生用パイロット信号を入力信号とする中継器を予備回線に切り換えること。を特徴とする特許請求範囲第1項の自動追従形非線形補償方式。
- (2)被補償系の出力信号において検出される相互変調ひずみ成分のレベルが予め定められる値以下となつたときは振動動作を予め定められる時間だけ休止し、休止中にひずみ成分のレベルが予め定められるレベル以上となつたときは再び振動動作を開始すること。
- (3)ひずみ発生用パイロット信号が入力信号として挿入されることにより振動動作を開始すること。

4.図面の簡単な説明

第1図は本発明による装置の実施例のブロック図、第2図はパイロット信号と3次相互変調ひずみ成分のスペクトラム図、第3図はパイロット信号を情

報信号空帯域に挿入した場合のスペクトラムの一例、第4図は本発明による装置の別の実施例のブロック図、第5図と第6図は本発明による装置の更に別の実施例のブロック図である。

1・・・信号入力ポート、2・・・帯域阻止波器、3,10・・・電力分配器、4・・・遅延線路、5・・・入出力3次特性回路、6・・・可変移相器、7・・・可変減衰器、8・・・電力合成器、9・・・被補償増幅器、11・・・信号出力ポート、12・・・非線形ひずみ検出器、13・・・非線形特性制御器、14・・・パイロット検出器、15・・・ブリディストーション非線形補償回路、16・・・入出力5次特性回路、17・・・周波数変換器

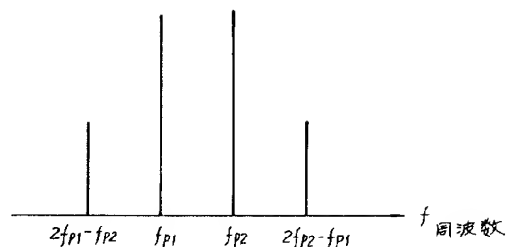
特許出願人

日本電信電話公社

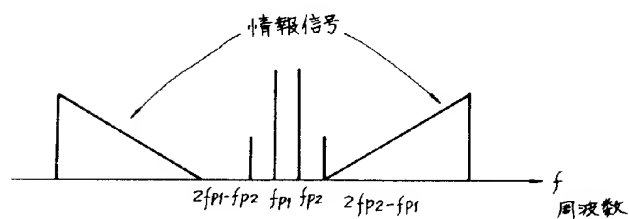
特許出願代理人

弁理士 山本 恵一

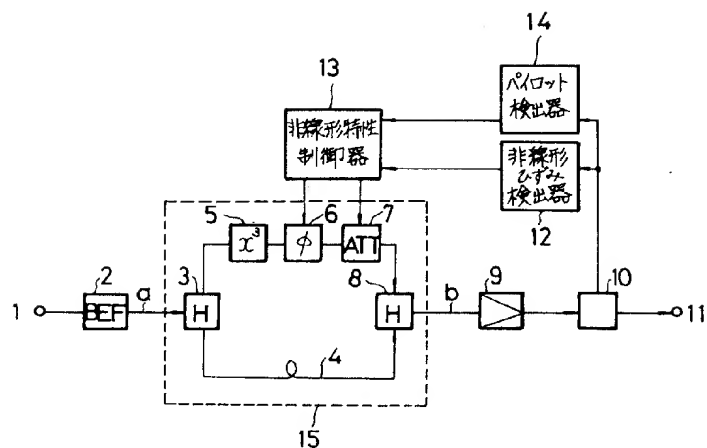
第 2 図



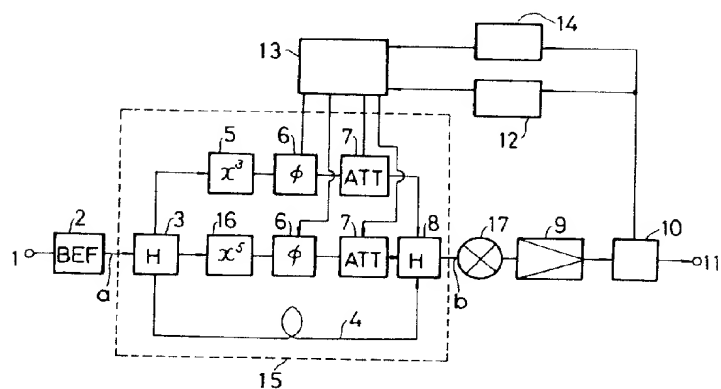
第 3 図



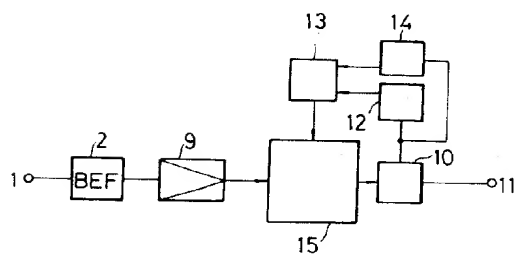
第 1 図



第 4 図



第 5 図



第 6 図

